

# **PERKIRAAN UMUR TRANSFORMATOR TENAGA DI GARDU INDUK BANYUDONO BERDASAR VARIASI PEMBEBANAN**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi**

**Strata I Pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

**Oleh :**

**RAIKA SYADAD**

**D400150002**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA**

**2019**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**PERKIRAAN UMUR TRANSFORMATOR TENAGA DI Gardu Induk Banyudono  
BERDASAR VARIASI PEMBEBANAN**

**PUBLIKASI ILMIAH**

Oleh:

**Raika Syadad**

**D400150002**

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



**Agus Supardi, S.T, M.T**

**NIK: 883**

**Halaman Pengesahan**

**PERKIRAAN UMUR TRANSFORMATOR TENAGA DI GARDU INDUK BANYUDONO  
BERDASAR VARIASI PEMBEBANAN**

**OLEH**

**RAIKA SYADAD**

**D400150002**

**Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji**

**Fakultas Teknik Elektro**

**Universitas Muhammadiyah Surakarta**

**Pada hari Sabtu, 11 mei 2019**

**dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

**Dewan Penguji**

**1. Agus Supardi, S.T, M.T**

**(Ketua Dewan Penguji)**

(.....)

**2. Ir. Jatmiko, M.T**

**(Anggota I Dewan Penguji)**

(.....)

**3. Umar, S.T, M.T**

**(Anggota II Dewan Penguji)**

(.....)

**Dekan,**



**Dr. Sri Sunarjono, MT., PhD.**

**NTK. 682**

## **PERNYATAAN**

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

**Surakarta, 11 mei 2019**

Penulis



**RAIKA SYADAD**

**D400150002**

# PERKIRAAN UMUR TRANSFORMATOR TENAGA DI GARDU INDUK BANYUDONO BERDASAR VARIASI PEMBEBANAN

## Abstrak

Transformator atau dengan istilah lain trafo merupakan suatu komponen sistem tenaga listrik yang sangat penting, karena digunakan untuk penyesuaian tegangan pada beban yang dilayani. Transformator tenaga didesain dengan suhu sekitar  $20^{\circ}\text{C}$ , tetapi jika tetap beroperasi pada suhu lingkungan  $30^{\circ}\text{C}$  maka trafo tersebut harus disesuaikan pembebanannya. Jika pembebanan tidak disesuaikan dengan suhu sekitar dapat menyebabkan laju penuaan transformator bertambah. Semakin tinggi suhu pada trafo maka semakin pendek nilai operasinya dan semakin besar susut umur dari trafo tersebut. Selain itu, susut umur dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu isolasi belitan trafo dan minyak trafo itu sendiri. Pembebanan pada transformator juga mengakibatkan rugi-rugi besi. Rugi-rugi besi akan terkonveksi sehingga menimbulkan panas tergantung besarnya arus pembebanan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi pembebanan terhadap susut umur trafo. Penelitian ini menggunakan metode perhitungan berdasarkan rumus minyak bagian atas, titik *hotspot*, dan suhu lingkungan transformator sehingga dapat ditemukan laju penuaan dan harapan hidup transformator. Dalam penelitian ini juga akan dibuat perbandingan harapan hidup transformator saat beban penuh dan beban biasa. Berdasar pengamatan, suhu lingkungan merupakan faktor penting untuk menentukan besar pembebanan yang bisa diberikan kepada transformator, transformator di desain untuk beroperasi secara terus menerus dengan beban penuh pada suhu lingkungan  $30^{\circ}\text{C}$  dan menurut IEC suhu lingkungan terbaik sekitar  $20^{\circ}\text{C}$ , berbeda dengan suhu di negara Indonesia rata-rata mencapai  $32^{\circ}\text{C}$  pada siang hari dan  $23^{\circ}\text{C}$  pada malam hari. Berdasarkan analisis saat transformator dibebani 100% dengan suhu lingkungan  $32^{\circ}\text{C}$  menghasilkan laju penuaan tertinggi sebesar 0,101 pU dengan perkiraan umur transformator 643.564 jam dan saat transformator dibebani 80% di suhu lingkungan  $20^{\circ}\text{C}$  (suhu standard IEC) menghasilkan laju penuaan yang rendah 0,011 pU dengan perkiraan umur transformator 5.909.090 jam. Mengingat suhu di Indonesia sangat tinggi untuk memperoleh umur transformator yang panjang pembebanan maksimal paling baik 80%, karena suhu lingkungan yang tinggi harus diimbangi pula dengan pembebanan transformator yang rendah supaya laju penuaan dari transformator juga rendah.

**Kata Kunci :** Transformator, laju penuaan , suhu lingkungan, pembebanan.

## Abstract

Transformer or in other terms trafo is a component of an electric power system that is very important, because it is used to adjust the voltage at the load served. The power transformer is designed with a temperature of around  $20^{\circ}\text{C}$ , but if it continues to operate at an ambient temperature of  $30^{\circ}\text{C}$ , the transformer must be adjusted accordingly. If loading is not adjusted to the ambient temperature it can cause the aging rate of the transformer to increase. The higher the temperature at the transformer, the shorter the value of the operation and the greater the age loss of the transformer. In addition, the shrinkage of age is influenced by two factors, namely the isolation of the transformer and oil transformer winding itself. Loading on the transformer also results in iron losses. Iron losses will be infected so that it causes heat depending on the amount of loading



current. This study aims to determine the effect of variations in loading on the shrinkage age of the transformer. This study uses a calculation method based on the upper oil formula, hotspot point, and the temperature around the transformer so that the aging rate and transformer life expectancy can be found. In this study a comparison of transformer life expectancy will be made when peak loads and ordinary loads. Based on observations, the ambient temperature is an important factor to determine the amount of load that can be given to the transformer, the transformer is designed to operate continuously with full load at an ambient temperature of  $30^{\circ}\text{C}$  and according to IEC the best ambient temperature is around  $20^{\circ}\text{C}$ , different from the temperature in Indonesia on average reaching  $32^{\circ}\text{C}$  during the day and  $23^{\circ}\text{C}$  at night. Based on the analysis when the transformer is loaded 100% with an ambient temperature of  $32^{\circ}\text{C}$  produces the highest aging rate of 0.101 pU with an estimated age of transformer 643,564 hours and when the transformer is loaded 80% at  $20^{\circ}\text{C}$  ambient temperature (IEC standard temperature) produces a low aging rate of 0.011 pU with an estimated transformer life of 5,909,090 hours. Given that the temperature in Indonesia is very high to obtain a long transformer, the maximum load is at best 80%, because the high ambient temperature must be balanced with a low transformer loading so that the aging rate of the transformer is also low.

**Keyword :** Transformer, shrinkage, ambient temperature, load

## 1. PENDAHULUAN

Dalam sistem operasi tenaga listrik keandalan dan kestabilan sistem sangat penting agar mendapat kenyamanan pelayanan pada konsumen, hal ini terpenuhi dengan memperhatikan kondisi peralatan-peralatan tenaga listrik yang ada. Listrik merupakan energi utama yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia. Di masa sekarang listrik berkembang pesat sesuai dengan berkembangnya teknologi yang sekarang banyak digunakan di rumah-rumah, sekolah, kantor sampai kegiatan industri. Indonesia merupakan salah satu negara berkembang yang membutuhkan listrik tersebut. Sistem tenaga listrik terbagi menjadi 3 kelompok yaitu, pembangkit, saluran transmisi, saluran distribusi.

Salah satu peralatan yang sangat penting dalam operasi sistem tenaga listrik adalah transformator. Transformator berfungsi untuk menyesuaikan tegangan beban yang diperlukan dengan menaikkan atau menurunkan tegangan tersebut. Dalam operasinya transformator tidak bisa dipisahkan dari fenomena kegagalan, baik dalam kegagalan thermal, mekanik, dan kegagalan listrik. Jika kegagalan berlangsung, akan menurunkan umur dari transformator itu sendiri bahkan terjadi kerusakan fatal (Husnayain et al, 2015). Transformator merupakan investasi modal terbesar di gardu induk transmisi dan distribusi. Selain itu, pemadaman transformator memiliki dampak ekonomi yang cukup besar pada pengoperasian sistem tenaga listrik karena transformator merupakan peralatan termahal dalam sistem tenaga listrik (Susa, 2005).

Menurut definisi dari IEC transformator adalah suatu peralatan listrik statis yang sederhana, efisien dan andal untuk mengubah tegangan dan arus bolak balik dari suatu tingkat ke tingkat yang lain. Pada umumnya transformator terdiri dari sebuah inti yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Rasio perubahan tegangan akan tergantung pada rasio perubahan belitan pada kedua kumparan itu. Kumparan terbuat dari kawat tembaga yang dililit di inti transformator (Khadir, 2010)

Menurut IEEE pelayanan hidup dari transformator mencapai 20,55 tahun, sedangkan menurut IEC tidak ditentukan secara spesifik tapi biasanya hingga 30 tahun. Kegagalan transformator dapat dikategorikan secara luas sebagai kegagalan listrik, mekanik, atau *thermal*. Penyebab kegagalan bisa menjadi eksternal atau internal. Selain kegagalan di tangki utama kegagalan juga bisa terjadi di *bushing*, pengubah tap, atau di aksesoris trafo (Wang et al, 2002).

Trafo berumur pendek diakibatkan adanya kegagalan isolasi yang disebabkan oleh beberapa faktor seperti, suhu *hotspot*, suhu lingkungan sekitar (*ambient temperature*), suhu minyak atas pada transformator dan variasi pembebanan yang didapat oleh transformator tersebut. Suhu *hotspot* merupakan faktor yang paling penting dalam menentukan tingkat kemampuan isolasi transformator, karena faktor laju penuaan tertinggi terjadi pada titik panas yang mengalami suhu maksimum. Suhu *hotspot* harus berada di bawah titik batas suhu yang diizinkan supaya transformator memiliki harapan hidup yang panjang (Dofan, 2011)

Transformator dirancang untuk membatasi suhu dengan berdasarkan pembebanan yang diinginkan, termasuk suhu belitan, suhu titik terpanas belitan, suhu *top oil*. Batas rata-rata kenaikan suhu standard belitan 65 °C, *hotspot* 80 °C dan *top oil* 65 °C, sedangkan menurut publikasi IEC tahun 1968 suhu *hotspot* dalam keadaan *overload* di suhu 140 °C (Harlow, 2011)

## **2. METODE PENELITIAN**

### **2.1 Perancangan Penelitian**

Sebelum melakukan penelitian, penulis membuat rancangan penelitian agar penelitian mempunyai tujuan dan langkah yang benar, maka perancangan penelitian untuk menyusun Tugas Akhir ini terdiri dari 5 tahap yaitu :

#### **1) Waktu dan Lokasi Penelitian**

Sebelum melakukan penelitian, penulis menentukan waktu kapan penelitian dimulai, setelah menentukan waktu kapan memulai penelitian, penulis memilih lokasi penelitian yang berada di Gardu Induk Banyudono 150 kV.

#### **2) Studi Literatur**

Penulis mencari studi kasus dan materi yang digunakan untuk penelitian yang bersumber dari jurnal, artikel, buku dan tanya jawab kepada narasumber.

### 3) Pengambilan Data

Penulis mengambil data pembebanan transformator untuk memperoleh informasi hasil pengujian petugas PLN yang kemudian akan disimpan dan di analisis.

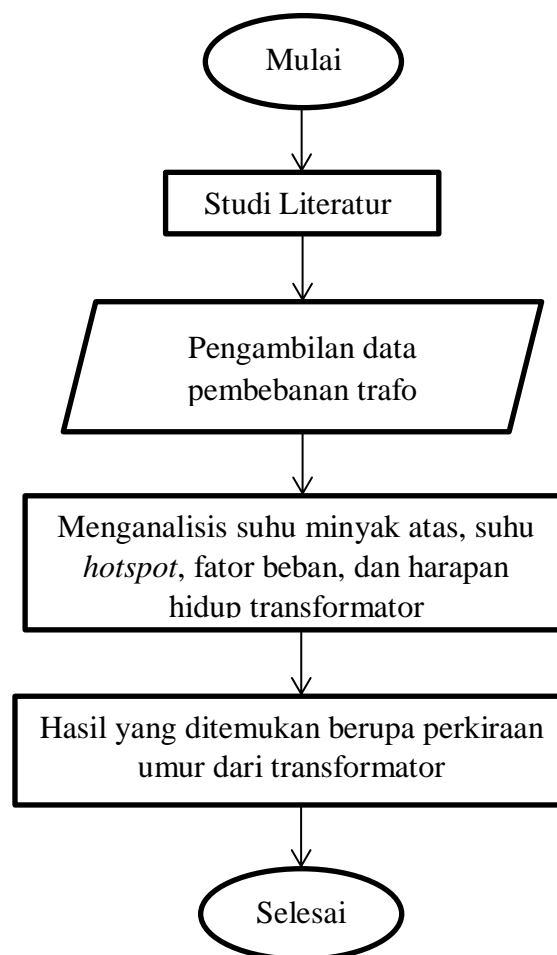
### 4) Analisis Data

Penulis menganalisis data pengujian untuk mendapatkan perkiraan umur transformator berdasarkan perbandingan variasi pembebanan.

### 5) Penyusunan laporan

Penulis membuat laporan tugas akhir yang sesuai dengan hasil analisis dan petunjuk penulisan tugas akhir yang sudah ditentukan.

## 2.2 Flowchart Penelitian



Gambar 1. Flowchart Penelitian



### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Analisis

Untuk menganalisis data, penulis menentukan faktor beban terlebih dahulu, data beban diambil dari transformator nomor 2 gardu induk Banyudono. Data pembebanan tersebut ada 2 waktu yaitu pembebanan pada siang hari dan pembebanan pada malam hari. Untuk mendapatkan perbandingan penulis membuat percobaan variasi pembebanan, dengan beban rata-rata antara 80%, 90%, 100%. Faktor beban merupakan perbandingan besarnya rata rata beban dan puncak beban.

#### Menghitung Faktor Beban

$$K = \frac{P_r}{P_p} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :  $P_p$  = Puncak beban

$P_r$  = Beban rata-rata

$K$  = Faktor beban

Perhitungan mencari faktor beban :

$$K = \frac{P_r}{P_p} = \frac{80 \%}{100 \%} = 0,8, \quad K = \frac{P_r}{P_p} = \frac{90 \%}{100 \%} = 0,9, \quad K = \frac{P_r}{P_p} = \frac{100 \%}{100 \%} = 1,0$$

Hasil ini dijadikan pedoman untuk menentukan umur transformator, dengan variasi pembebanan antara 80-100%.

#### Menghitung $Z_{\text{dasar}}$ dan $Z_{\text{sesungguhnya}}$

Karena nilai resistansi transformator masih dinyatakan dalam satuan persen, untuk mencari rugi-rugi tembaga maka dicari nilai resistansi sesungguhnya, dengan nilai resistansi transformator 0,09%, tegangan primer 150 kV, tegangan sekunder 20 kV, daya pengenal 60 MVA.

$$Z_{\text{dasar}} = \frac{(kV)^2}{MVA} \dots\dots\dots(2)$$

$$Z_{\text{dasar}} = \frac{(kV)^2}{MVA} = \frac{\left(\frac{150}{\sqrt{3}}\right)^2}{\frac{60}{3}} = \frac{7500 V}{20 A} = 375 \Omega \text{ (Primer)}$$

$$Z_{\text{dasar}} = \frac{(kV)^2}{MVA} = \frac{\left(\frac{20}{\sqrt{3}}\right)^2}{\frac{60}{3}} = \frac{133,3 V}{20 A} = 6,67 \Omega \text{ (Sekunder)}$$

$$Z_{\text{sesungguhnya}} = Z_{\text{pu}} \times Z_{\text{dasar}} \dots\dots\dots(3)$$

$$Z_{\text{sesungguhnya}} = Z_{\text{pu}} \times Z_{\text{dasar}} = 0,09\% \times 375 = 0,3375 \Omega \text{ (Primer)}$$

$$Z_{\text{sesungguhnya}} = Z_{\text{pu}} \times Z_{\text{dasar}} = 0,09\% \times 6,67 = 0,006003 \text{ } \Omega \text{ (Sekunder)}$$

Tabel 1. Data pembebanan transformator nomor 2 Gardu Induk Banyudono pada tanggal 9 januari 2019

	Arus Belitan Primer (A)			Arus Belitan Sekunder(A)		
	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Fasa R	Fasa S	Fasa T
Siang	116	116	116	849	760	735
Malam	128	128	128	958	831	789

Tabel 1 merupakan data yang diambil dari transformator nomor 2 gardu induk Banyudono pada tanggal 9 januari di waktu siang pukul 10.00 dan waktu malam pukul 18.00.

### Perhitungan rugi – rugi tembaga.

$$P_{\text{cu}} = I^2 \cdot R \text{ .....(4)}$$

Keterangan :  $P_{\text{cu}}$  = Rugi-rugi tembaga (W)

$I$  = Arus (A)

$R$  = Resistansi ( $\Omega$ )

#### A. Waktu siang hari

$$\text{Belitan primer fasa R : } P_{\text{cu}} = I^2 \cdot R = 116^2 \text{ A} \times 0,3375 \text{ } \Omega = 4.541,4 \text{ W}$$

$$\text{Belitan primer Fasa S : } P_{\text{cu}} = I^2 \cdot R = 116^2 \text{ A} \times 0,3375 \text{ } \Omega = 4.541,4 \text{ W}$$

$$\text{Belitan primer Fasa T : } P_{\text{cu}} = I^2 \cdot R = 116^2 \text{ A} \times 0,3375 \text{ } \Omega = 4.541,4 \text{ W}$$

$$\text{Belitan sekunder Fasa R : } P_{\text{cu}} = I^2 \cdot R = 849^2 \text{ A} \times 0,006003 \text{ } \Omega = 4.326,9 \text{ W}$$

$$\text{Belitan sekunder Fasa S : } P_{\text{cu}} = I^2 \cdot R = 760^2 \text{ A} \times 0,006003 \text{ } \Omega = 3.467,3 \text{ W}$$

$$\text{Belitan sekunder Fasa T : } P_{\text{cu}} = I^2 \cdot R = 735^2 \text{ A} \times 0,006003 \text{ } \Omega = 3.242,9 \text{ W}$$

Jadi jumlah rugi tembaga waktu siang hari = 24.661,3W = 24,661 kW

#### B. Waktu malam hari

$$\text{Belitan primer Fasa R : } P_{\text{cu}} = I^2 \cdot R = 128^2 \text{ A} \times 0,3375 \text{ } \Omega = 5.529,6 \text{ W}$$

$$\text{Belitan primer Fasa S : } P_{\text{cu}} = I^2 \cdot R = 128^2 \text{ A} \times 0,3375 \text{ } \Omega = 5.529,6 \text{ W}$$

$$\text{Belitan primer Fasa T : } P_{\text{cu}} = I^2 \cdot R = 128^2 \text{ A} \times 0,3375 \text{ } \Omega = 5.529,6 \text{ W}$$

Belitan sekunder Fasa R :  $P_{cu} = I^2.R = 958^2 A \times 0,006003 \Omega = 5.509,3 W$

Belitan sekunder Fasa S :  $P_{cu} = I^2.R = 831^2 A \times 0,006003 \Omega = 4.145,4 W$

Belitan sekunder Fasa T :  $P_{cu} = I^2.R = 789^2 A \times 0,006003 \Omega = 3.736,9 W$

Jadi jumlah rugi tembaga waktu malam hari =  $29.980,4 W = 29,980 kW$

Jadi dari perhitungan di atas jumlah rugi-rugi tembaga pada siang hari =  $24,661 kW$  dan malam hari  $29,980 kW$ .

### Menghitung perbandingan rugi

$$d = \frac{\text{Rugi tembaga daya pengenalan}}{\text{Rugi beban nol}} \dots\dots\dots (5)$$

$$= \frac{24,661 kW}{100 kW} = 0,24 \text{ ( siang hari )}$$

$$= \frac{29,980 kW}{100 kW} = 0,29 \text{ ( malam hari )}$$

### Menentukan kenaikan *ultimate top oil*

$$\Delta\theta_{ou} = \Delta\theta_{oi} \left[ \frac{1+dK^2}{1+d} \right] \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan :  $\Delta\theta_{ou} = \text{Ultimate top oil}$

$$\Delta\theta_{oi} = \text{ON} = 40^\circ\text{C} \text{ \& } \text{OF} = 55^\circ\text{C}$$

$$K = \text{ONAF \& ONAN} = 0,9$$

$$\text{OFAF \& OFWF} = 1,0$$

$$d = \text{Perbandngan rugi transformator}$$

$$\Delta\theta_{ou} = \Delta\theta_{oi} \left[ \frac{1+dK^2}{1+d} \right] = 40 \left[ \frac{1+0,24 \times (0,9)^2}{1+0,24} \right] = 40 \left[ \frac{1,1944}{1,24} \right] = 38,52^\circ\text{C} \text{ (siang hari)}$$

$$\Delta\theta_{ou} = \Delta\theta_{oi} \left[ \frac{1+dK^2}{1+d} \right] = 40 \left[ \frac{1+0,29 \times (0,9)^2}{1+0,29} \right] = 40 \left[ \frac{1,2349}{1,29} \right] = 38,29^\circ\text{C} \text{ (malam hari)}$$

### Menentukan kenaikan *temperature top oil*

$$\Delta\theta_{on} = \Delta\theta_{0(n-1)} + (\Delta\theta_{ou} - \Delta\theta_{0(n-1)}) \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan :  $\Delta\theta_{on}$  = Temperatur *top oil*  $^\circ\text{C}$

$$\Delta\theta_{0(n-1)} = \text{Temperatur kenaikan awal minyak } ^\circ\text{C}$$

$\tau$  = Waktu minyak dalam jam

$t$  = Waktu dalam jam

$$\begin{aligned}\Delta\theta_{on} &= \Delta\theta_{0(n-1)} + (\Delta\theta_{ou} - \Delta\theta_{0(n-1)}) \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \\ &= 38,52 + (38,52 - 38,52) \left(1 - e^{-1/2}\right) = 38,52 \text{ }^{\circ}\text{C (waktu siang)} \\ &= 38,29 + (38,29 - 38,29) \left(1 - e^{-1/2}\right) = 38,29 \text{ }^{\circ}\text{C (waktu malam)}\end{aligned}$$

### Menentukan temperature *hotspot*

Tabel 2. Data temperatur yang diuji pada siang hari dan malam hari

	Waktu siang hari	Waktu malam hari
Rata-rata kenaikan temperatur bilitan	63 °C	57 °C
Kenaikan temperatur <i>top oil</i> (IEC 76) $\Delta\theta_{br}$	55 °C	55 °C
Rata-rata kenaikan temperatur minyak	60 °C	54 °C
Selisih rata-rata temperatur belitan dan minyak $\Delta\theta_{wo}$	3 °C	3 °C

Temperatur *hotspot* dengan sirkulasi minyak alami

$$\Delta\theta_{cr(alami)} = \Delta\theta_{br} + 1,1 \Delta\theta_{wo} \dots \dots \dots (8)$$

$$\begin{aligned}\Delta\theta_{cr(alami)} &= \Delta\theta_{br} + 1,1 \Delta\theta_{wo} \\ &= 55 \text{ }^{\circ}\text{C} + 1,1 \times 3 \text{ }^{\circ}\text{C} = 58,3 \text{ }^{\circ}\text{C (siang hari)} \\ &= 55 \text{ }^{\circ}\text{C} + 1,1 \times 3 \text{ }^{\circ}\text{C} = 58,3 \text{ }^{\circ}\text{C (malam hari)}\end{aligned}$$

Temperatur *hotspot* dengan sirkulasi minyak paksaan

Bisa diketahui standart IEC 76 kenaikan temperatur *hotspot* sirkulasi minyak paksaan  $\Delta\theta_b$  berkurang menjadi 40 °C.

$$\Delta\theta_{cr(paksaan)} = \Delta\theta_b + (\theta_{cr(alami)} - \theta_b) \dots \dots \dots (9)$$

$$\begin{aligned}\Delta\theta_{cr(paksaan)} &= \Delta\theta_b + (\theta_{cr(alami)} - \theta_b) \\ &= 40 \text{ }^{\circ}\text{C} + (58,3 - 40 \text{ }^{\circ}\text{C}) = 58,3 \text{ }^{\circ}\text{C (siang hari)} \\ &= 40 \text{ }^{\circ}\text{C} + (58,3 - 40 \text{ }^{\circ}\text{C}) = 58,3 \text{ }^{\circ}\text{C (malam hari)}\end{aligned}$$

### Menghitung selisih antara temperature *hot spot* dan *top oil*

$$\Delta\theta_{td} = (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_b) K^{2y} \dots\dots\dots(10)$$

Keterangan :  $\Delta\theta_{td}$  = Selisih antara temperature *hot spot* dan *top oil*

$\Delta\theta_{cr}$  = Temperatur *hotspot* dengan sirkulasi minyak paksaan

$\Delta\theta_b$  = Standart IEC 76 (40°C) kenaikan temperatur *top oil*

K = Faktor beban

y = kontanta  
0,8 (ONAN dan ONAF)  
0,9 (OFAP dan OFWF)

Contoh perhitungan pada pembebanan 80% waktu siang dan waktu malam

$$\Delta\theta_{td} = (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_b) K^{2y} = (58,3 - 40) \times (0,8)^{2(0,8)} = (18,3) \times (0,699) = 12,79^\circ\text{C} \text{ (waktu siang)}$$

$$\Delta\theta_{td} = (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_b) K^{2y} = (58,3 - 40) \times (0,8)^{2(0,8)} = (18,3) \times (0,699) = 12,79^\circ\text{C} \text{ (waktu malam)}$$

Tabel 3. Hasil Selisih antara temperature *hot spot* dan *top oil*

	Selisih antara temperature <i>hot spot</i> dan <i>top oil</i>	
	Waktu Siang	Waktu Malam
Pembebanan 80%	12,79°C	12,79°C
Pembebanan 90%	15,44 °C	15,44 °C
Pembebanan 100%	18,3 °C	18,3 °C

Hasil perhitungan dari tabel 3. selisih antara temperature *hot spot* dan *top oil* akan digunakan untuk menghitung temperatur *hotspot*.

### Menghitung temperatur *hotspot*

Suhu sekitar sangat berpengaruh untuk menentukan nilai dari temperatur *hotspot*. Penulis mengasumsikan suhu sekitar standard IEC 20°C, standard IEEE 30°C dan suhu sebenarnya di indonesia memiliki suhu rata-rata siang hari 32 °C dan malam hari 23°C.

$$\theta_{hn} = \theta_a + \Delta\theta_{on} + \Delta\theta_{td} \dots\dots\dots(11)$$

Keterangan :  $\theta_{hn}$  = temperatur *hotspot*

$\theta_a$  = suhu sekitar

$\Delta\theta_{on}$  = temperatur *top oil*

$\Delta\theta_{td}$  = Selisih antara temperature *hot spot* dan *top oil*

Contoh perhitungan pembebanan 80% :

$$\theta_{hn} = \theta_a + \Delta\theta_{on} + \Delta\theta_{td} = 20\text{ }^{\circ}\text{C} + 38,52\text{ }^{\circ}\text{C} + 12,79\text{ }^{\circ}\text{C} = 71,31\text{ }^{\circ}\text{C} \text{ ( waktu siang )}$$

$$\theta_{hn} = \theta_a + \Delta\theta_{on} + \Delta\theta_{td} = 20\text{ }^{\circ}\text{C} + 38,29\text{ }^{\circ}\text{C} + 12,79\text{ }^{\circ}\text{C} = 71,08\text{ }^{\circ}\text{C} \text{ ( waktu malam)}$$

Tabel 4. Hasil perhitungan temperatur *hotspot*

	Temperatur <i>hotspot</i> dengan perbandingan pembebanan dan suhu sekitar			
	Pembebanan	Standart IEC 20 °C	Standart IEEE 30 °C	Suhu sebenarnya siang 32°C dan malam 23 °C
Waktu Siang	80 %	71,31 °C	81,31 °C	83,31 °C
	90%	73,96 °C	83,96 °C	85,96 °C
	100%	76,82 °C	86,82 °C	88,82 °C
Waktu Malam	80%	71,08 °C	81,08 °C	74,08 °C
	90%	73,73 °C	83,73 °C	76,73 °C
	100%	76,59 °C	86,59 °C	79,59 °C

Hasil dari tabel 4, akan digunakan untuk menghitung laju penuaan transformator.

### Menghitung faktor laju penuaan

$$F_{AA} = e^{\left[\frac{15.000}{383} - \frac{15.000}{\theta_h + 273}\right]} \dots\dots\dots(12)$$

Keterangan :  $F_{AA}$  = Faktor laju penuaan isolasi

$\theta_h$  = Temperatur *Hotspot*

Contoh perhitungan pembebanan 80%

$$F_{AA} = e^{\left[\frac{15.000}{383} - \frac{15.000}{\theta_h + 273}\right]} = e^{\left[\frac{15.000}{383} - \frac{15.000}{71,31 + 273}\right]} = e^{[39,16 - 43,56]} = 0,012 \text{ pU (waktu siang)}$$

$$F_{AA} = e^{\left[\frac{15.000}{383} - \frac{15.000}{\theta_h + 273}\right]} = e^{\left[\frac{15.000}{383} - \frac{15.000}{71,08 + 273}\right]} = e^{[39,16 - 43,59]} = 0,011 \text{ pU (Waktu malam)}$$

Tabel 5. Hasil perhitungan faktor laju penuaan isolasi

	Hasil perhitungan $F_{AA}$ dengan perbandingan pembebanan dan suhu sekitar			
	Pembebanan	Standart IEC 20 °C	Standart IEEE 30 °C	Suhu sebenarnya siang 32°C dan malam 23 °C
Waktu Siang	80 %	0,012	0,042	0,053
	90%	0,017	0,057	0,073
	100%	0,024	0,080	0,101
Waktu Malam	80%	0,011	0,041	0,017
	90%	0,016	0,055	0,023
	100%	0,023	0,078	0,034

Hasil dari tabel 5. Akan digunakan untuk menghitung nilai harapan hidup transformator, dimana semakin besar pembebanan dan nilai suhu sekitar maka semakin tinggi nilai  $F_{AA}$  dan begitu juga sebaliknya.

### Menghitung harapan hidup transformator

$$\text{Harapan hidup transformator} = \frac{65000}{F_{AA}} \dots\dots\dots(13)$$

Keterangan :  $F_{AA}$  = Faktor laju penuaan isolasi

Contoh perhitungan pembebanan 80% :

$$\text{Harapan hidup transformator} = \frac{65000}{F_{AA}} = \frac{65000}{0,012} = 5.416.666 \text{ jam (waktu siang)}$$

$$\text{Harapan hidup transformator} = \frac{65000}{F_{AA}} = \frac{65000}{0,011} = 5.909.090 \text{ jam ( waktu malam)}$$

Tabel 6. Hasil perhitungan harapan hidup transformator

	Perkiraan harapan hidup transformator dengan perbandingan pembebanan dan suhu sekitar (jam)			
	Pembebanan	Standart IEC 20 °C	Standart IEEE 30 °C	Suhu sebenarnya siang 32°C dan malam 23 °C



Waktu Siang	80 %	5.416.666	1.547.619	1.226.415
	90 %	3.823.529	1.140.350	890.410
	100 %	2.708.333	812.500	643.564
Waktu Malam	80 %	5.909.090	1.585.365	3.823.529
	90%	3.823.529	1.181.818	2.826.086
	100%	2.826.086	833.333	1.911.764

Dari tabel 6, dapat diketahui bahwa perkiraan umur transformator paling lama yaitu 5.909.090 jam pada pembebanan 80% di suhu standart IEC 20°C waktu malam hari dan perkiraan umur transformator paling pendek yaitu 643.564 jam pada pembebanan 100% di suhu indonesia 32°C waktu siang hari

#### 4. PENUTUP

Dari analisis perhitungan perkiraan umur transformator tenaga di gardu induk Banyudono 150 kV berdasar variasi pembebanan dapat diambil kesimpulan :

- Perkiraan umur transformator terpendek selama 643.564 jam pada siang hari di suhu sekitar 32°C dengan pembebanan maksimal 100%.
- Perkiraan umur transformator terlama yaitu sekitar 5.416.666 jam pada siang hari di suhu sekitar 20 °C dengan pembebanan terendah 80 %, dan 5.909.090 jam pada malam hari di suhu sekitar 20 °C dengan pembebanan terendah 80%.
- Transformator dibebani 100% di suhu lingkungan 32°C diperoleh susut umur maksimal dengan faktor laju penuaan sebesar 0,101 pU dan saat transformator dibebani 80% di suhu standard IEC 20 °C menghasilkan susut umur minimal dengan laju penuaan sebesar 0,011 pU.
- Suhu lingkungan sangat mempengaruhi umur transformator, terlihat perbedaan antara suhu standard IEC 20 °C, suhu standard IEEE 30°C dan suhu rata-rata di Indonesia 32°C di siang hari dan 23 °C di malam hari.
- Di Indonesia untuk memperpanjang umur transformator, pembebanan maksimal 80 % mengingat suhu yang sangat tinggi, sehingga harus diimbangi dengan pembebanan yang rendah.

## PERSANTUNAN

Pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan syukur alhamdulillah dan banyak berterimakasih kepada pihak-pihak yang telah membantu penulis untuk menyelesaikan penyusunan naskah publikasi ini sebagai berikut :

- a. Terima kasih kepada Allah SWT atas limpahan rahmatnya dan hidayahnya penulis dapat menyelesaikan penyusunan laporan tugas akhir.
- b. Terima kasih kepada keluarga khususnya orang tua yang selalu memberi dukungan serta doa yang tiada henti untuk menyelesaikan penyusunan laporan tugas akhir.
- c. Kepada dosen teknik elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta yang telah memberi ilmu dan bimbingan, Khususnya kepada pembimbing tugas akhir Bapak Agus Supardi S.T, M.T
- d. Kepada teman-teman, khususnya squad hik babe, teman satu kelas, teman luar jurusan dan teman seperjuangan angkatan 15 yang sudah ikut menemani dalam penyusunan tugas akhir.
- e. Kepada Bapak Alvin selaku supervisor gardu induk Banyudono, Mas Galih, dan Nur Aza yang telah memberi semangat dan membantu menyelesaikan penyusunan tugas akhir ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Kadir, (2010), *Transformator*, Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta (UI-Press).
- Dimas Aldi Yanuar Andika, (2018), *Pengaruh Pembebanan Terhadap Umur transformator Tenaga di Gardu Induk Palur*, Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Dofan Ali R. Jamal, (2011), *Study On Thermal Model For Calculating Transformer HotSpot Temperatur*, Electronic Engineering University Tun Hussein Onn Malaysia (UTHM).
- Husnayain, F., Latif, M., & Garniwa, I, (2015), *Transformer Oil Lifetime Prediction Using the Arrhenius Law Based on Physical and Electrical Characteristics*, Page 115-120.
- Harlow James H, (2011), *Electrical Power Transformer Engineering Volume 01*, CRC Press, LLC, US, Page 12-20.
- IEC, (2000), *Power Transformers*, IEC Standard 60076-1, International Electrotechnical Commission, 2000-04 Edition : 2.1.
- IEEE, (1995), *Loading Guide For Oil Immersed Transformer*, IEEE Standard C57.91, Institute of 16 Electrical and Electronic Engineering, New York.
- Purnama Sigid, (2008), *Analisa Pengaruh Pembebanan Terhadap Susut Umur Transformator Tenaga*, Teknik Elektro, Fakultas Teknik. Universitas Diponegoro Semarang.

- Susa D., Lehtonen M., and Nordman H., (2005), *Dynamic Thermal Modelling of Power Transformers*, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 20, Iss. 1, January 2005, Page 197 – 204.
- Wang, M., Vandermaar, A. J., & Srivastava, K. D, (2002). *Review of Condition Assessment of Power Transformers in Service*. IEEE Electrical Insulation Magazine, 18(6), Page 12–25.